

Раздел 3
Section 3

ЭКОЛОГИЯ
ECOLOGY

УДК 574.587:57.044 (571.15)

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМ
ОЗЕР КОКША И СВЕТЛОЕ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)**

О.Н. Вдовина, Д.М. Безматерных

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: olgazhukova1984@yandex.ru, bezmater@yandex.ru

В различные гидрологические сезоны 2022 г. проведено комплексное исследование озер Кокша и Светлое Советского района Алтайского края. Изучены донные осадки озер, химические и физические показатели воды. Оценено содержание в воде хлорофилла а». Дана характеристика состава, структуры и сезонной динамики сообществ донных макробеспозвоночных. Макрозообентос озер характеризовался высоким видовым разнообразием. Отмечены высокие значения численности и биомассы зообентоса, уровень развития соответствовал эвтрофным типам водоемов. На основе биоиндикационных индексов определено качество воды озер. С помощью корреляционного и канонического анализов выявлено, что наибольшее влияние на развитие сообществ макробеспозвоночных в исследованных озерах оказывали биогенные элементы и содержание легкоокисляемых органических веществ. Показатели развития зообентоса, а также значения биотических индексов свидетельствуют о благоприятной экологической обстановке в исследованных озерах, что согласуется с данными о содержании в воде хлорофилла «а» и гидрохимическими показателями (ИЗВ6), согласно которым воды этих озер относятся к I классу качества.

Ключевые слова: донные беспозвоночные; озера; Западная Сибирь; биоиндикация; факторы среды.

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17703

Дата поступления: 14.04.2025. Принята к печати: 2.06.2025

Предгорные озера Кокша и Светлое расположены в бассейне р. Кокша на Предалтайской равнине в районе луговых степей Северного Алтая и древней террасы реки Катунь. При небольшой площади водосбора, отсутствии впадающих ручьев (рек) и отрицательном балансе «осадки-испарение» озера имеют обильное питание подземными водами [Галахов, Губарев, 2018]. Фактически р. Кокша является протокой

р. Катунь, часть которой существует в виде подземного потока, скрытого под землей на глубинах до 25–30 м. Подземный поток течет по мощному горизонту валунно-галечного аллювия параллельно Катунь, преодолевает под землей поверхностный водораздел и в 5–6 км от Катунь разгружается в виде серии озер, рек и ручьев, из которых, после слияния, образуется река Кокша. Из-за обилия ключей, бьющих со дна и пита-

ющих водоемы грунтовыми водами, зимой озера не замерзают, температура воды не опускается ниже $+5 - +6^{\circ}\text{C}$. Благодаря этому, озера и незамерзающие части рек, вытекающие из этих озер, являются одним из немногих в регионе (и единственным таких масштабов) мест зимовки водоплавающих птиц, особенно лебедя-кликуна [Рычков, Рычкова, 2004]. Здесь учрежден государственный природный комплекс – заказник «Лебединый» [Красная книга..., 2009]. Для оз. Светлое характерна средняя степень антропогенного воздействия (рекреационное воздействие), для оз. Кокша – низкая (сельскохозяйственное воздействие).

В настоящее время существует ряд систем биоиндикационной оценки качества воды, которые используются различными странами. Наибольшее развитие и применение получила биоиндикация с использованием сообществ макрозообентоса, который наиболее четко отражает качество вод и состояние экологических систем водоемов. В условиях возрастания антропогенного воздействия на озера Кокша и Светлое особенно актуально стоит вопрос изучения современного состояния сообществ макробеспозвоночных и их реакции на изменения факторов среды. Цель работы: на

основании имеющихся гидрохимических и гидробиологических данных оценить современное экологическое состояние озер Кокша и Светлое в Алтайском крае.

Материал и методы

В мае, июле и сентябре 2022 г. проведено комплексное исследование озер Кокша и Светлое Советского района Алтайского края (табл. 1; рис. 1).

На каждом озере отобрано и проанализировано по 9 проб воды для изучения гидрохимических показателей и хлорофилла «а», а также по 3 пробы донных отложений на гранулометрический анализ и содержание органического углерода. Пробы воды отбирали с приповерхностного горизонта в пластиковую тару 1.5 л. Донные осадки собирали дночерпателем Петерсена. Материал для исследований собирали и обрабатывали по стандартным гидрохимическим методикам [Руководство..., 2009, 2012]. Гранулометрический анализ донных отложений выполнен в соответствии с ГОСТ 12536-2014 [2015]. Камеральная обработка гидрохимических проб и проб донных осадков выполнена в лаборатории биогеохимии, а хлорофилла «а» – в лаборатории гидробиологии ИВЭП СО РАН, в соответствии с ГОСТ 17.1.4.02-90 [1999].

Таблица 1

Основные характеристики исследованных озер [Губарев и др., 2023]

Table 1

Main characteristics of the studied lakes [Gubarev et al., 2023]

Озеро	Характеристики				
	Координаты	Площадь, тыс. м ²	Макс. глубина, м	Высота, м н.у.м.	Грунт
Кокша	52°18'39" с. ш. 85°43'51" в. д.	226.77	1.38	209	В прибрежье – камни, заиленный песок. В зоне открытой воды – черные жидкие илы, детрит
Светлое	52°17'37" с. ш. 85°39'01" в. д.	262.08	1.48	207	В прибрежье – камни, заиленный песок. В зоне открытой воды – черные жидкие илы, детрит

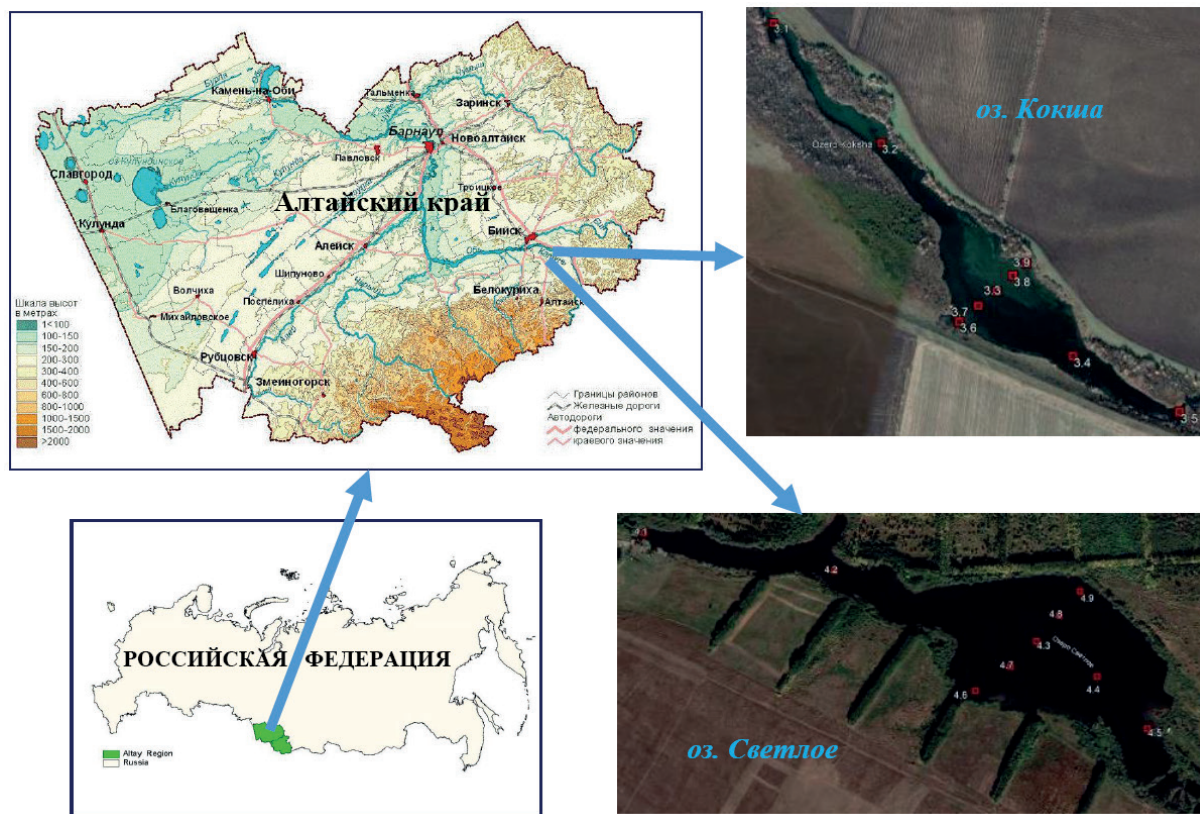


Рис. 1. Местонахождение изученных озер: 3.1–3.9 и 4.1–4.9 – станции обора проб

Fig. 1. Location of the studied lakes: 3.1–3.9 and 4.1–4.9 – sampling stations

Донные беспозвоночные озер исследованы в сентябре 2018 г., а также в мае, июле и сентябре 2022 г. Всего отобрано 72 количественные и 11 качественных проб макробеспозвоночных. Макрозообентос собирали и обрабатывали по стандартным гидробиологическим методикам [Методы..., 2024]. При сборе зообентоса использовали различные методы: качественные сборы проводили сачком или скребком, количественные – дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.025 м². При сборе бентоса с каменистого грунта вручную брали несколько камней на глубине до 0.7 м, помещали их в промывалку и отмывали. Обсохший камень в дальнейшем обрисовывали по контуру на миллиметровой бумаге для подсчета площади. Пробы промывали через капроновый газ с размером ячеек

350х350 мкм и фиксировали 70% этанолом. После установления постоянного веса животных разбирали по систематическим группам, затем просчитывали и взвешивали на торсионных весах ВТ-500. Определение материала проводили по ряду пособий: «Определитель пресноводных беспозвоночных России» [1994–2004], «Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России» [2016] и др.

Для биоиндикации экологического состояния озёр использовано 7 биоиндикационных показателей, распространенных в системах мониторинга озер различных стран. Среди них метрики, используемые Росгидрометом: индекс видового разнообразия Шеннона, хирономидный индекс Балутской [1976], олигохетный индекс Гуднайт и Уитлеа, определяемый по чис-

ленности олигохет [ГОСТ 17.1.3.07-82]. В дополнение, использовали индексы применяемые в странах ЕС, рекомендованные Водной Рамочной Директивой [Семенченко, Разлудский, 2011]: Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF), Biological Monitoring Working Party Index (BMWP), Average Score Per Taxon Index (ASPT). Трофический статус озер оценивали по биомассе зообентоса при помощи «шкалы трофности» С.П. Китаева [2007].

Класс качества воды в каждом озере определяли по таблице 2. Значения олигохетного индекса Гуднайта и Уитлеа сопоставляли с принятой в России классификацией качества вод по гидробиологическим показателям [ГОСТ 17.1.3.07-82]. Индекс видового разнообразия Шеннона ранжировали в соответствии с работой Л.В. Яныгиной [2014]. Для индексов MMIF, BMWP и ASPT в России не существует региональных модификаций, и они лишь приблизительно соотнесены с принятым делением на классы качества.

Статистическая обработка данных проведена в программе Past v.4.14 [Hammer et al., 2001].

Результаты

Донные осадки, гидрофизические и гидрохимические показатели. Для изученных озер было характерно преобладание илистых грунтов, в прибрежье присутствовал каменистый субстрат. Гранулометрический состав мягких грунтов приведен в таблице 3. По классификации современных терригенных осадков [Методы..., 1986] в озере Кокша преобладали черные мелкоалевритовые илы, в оз. Светлое – черные крупноалевритовые илы. В оз. Светлом выявлены участки дна, покрытые полуразложившимся комбикормом, которым служащие заказника обильно подкармливают зимующих на нем лебедей.

В соответствии с классификацией О.А. Алекина [1970] воды изученных озер относятся к классу гидрокарбонатных, кальциевой группы. По величине водородного потенциала воды были нейтральными-слабощелочными. Согласно классификации О.П. Оксюк с соавт. [1993] по содержанию общего фосфора воды оз. Кокша и Светлое – мезотрофные. Концентрация нитратов соответствует чистым водам.

Таблица 2

Классификация качества воды озер по биотическим индексам

Table 2

Classification of lake water quality by biotic indices

Класс качества вод	H	BMWP	ASPT	MMIF	K
I – очень чистые	>3.00	>100	>5.1	0.9–1.00	1–20
II – чистые	2.01–3.00	70–100	4.6–5	0.70–0.89	21–35
III – умеренно загрязненные	1.51–2.00	50–70	4.1–4.5	0.50–0.69	36–50
IV – загрязненные	1.01–1.50	30–49	3.6–4	0.3–0.49	51–65
V – грязные	0.51–1.00	11–29	2–3.5	0.11–0.29	66–85
VI – очень грязные	<0.50	0–10	<2	0.00–0.10	86–100

Примечания: H – коэффициент видового разнообразия Шеннона; MMIF – Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders; BMWP – Monitoring Working Party Index; ASPT – Average Score Per Taxon Index; K – олигохетный индекс Гуднайта и Уитлеа

Таблица 3

Основные физические и химические показатели донных осадков
озер Кокша и Светлое, % (2022 г.)

Table 3

Main physical and chemical parameters of bottom sediments
in the Lakes Koksha and Svetloye, % (2022)

Озеро	C _{орг.} , %	Гранулометрический состав (размер частиц), мм						
		1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	<0.01
Кокша	6.8±1.5	3.08±0.85	23.90±3.22	47.91±5.67	8.27±1.38	12.29±4.36	4.55±1.33	25.11±6.90
Светлое	3.1±1.7	16.05±9.76	43.59±14.58	20.24±9.18	7.37±4.76	9.65±7.86	3.09±1.88	20.12±14.49

Содержание хлорофилла «а» в воде со- [Временные методические..., 1986]. ИЗВ6 в
ответствовало олиготрофным водоемам оз. Кокша течение всего 2022 г. менялся в
(табл. 4). незначительных пределах 0.20–0.22, а в оз.

По гидрохимическим показателям был Светлое еще меньше – 0.17–0.18. Все эти
рассчитан индекс загрязнения вод (ИЗВ6), значения соответствуют 1 классу качества
по которому определен класс качества вод вод («очень чистые воды»).

Таблица 4

Основные физические и химические показатели воды исследованных озер (2022 г.)

Table 4

The main physical and chemical parameters of the water of the studied lakes (2022)

Показатель	Кокша	Светлое	Кокша	Светлое	Кокша	Светлое
	Май		Июль		Сентябрь	
Прозрачность, м	до дна	до дна	до дна	до дна	до дна	до дна
Eh, мВ	221±4	219±6	300±26	349±4	274±9	317±1
pH	7.6±0.01	7.5±0.1	7.6±0.1	7.4±0.0	7.5±0.0	8.0±0.1
Минерализация, мг/дм ³	107.8±1.7	119.3±3.9	117.4±2.7	113.5±2.7	140.7±2.0	149.4±5.4
CO ₃ ²⁻ , мг/дм ³	<10	<10	<10	<10	<10	<10
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	73.2±5.3	81.3±2.0	80.4±2.0	79.3±1.8	98.6±1.0	104.7±3.7
Cl ⁻ , мг/дм ³	<10	<10	<10	<10	<10	<10
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	15.8±0.0	15.8±0.0	<10	<10	<10	<10
Ca ²⁺ , мг/дм ³	15.3±1.8	20.0±3.1	22.7±0.7	22.7±0.7	25.3±0.7	30.7±1.3
Mg ²⁺ , мг/дм ³	6.8±1.4	6.0±2.1	4.0±0.8	3.6±0.0	4.4±0.4	3.6±0.0
ΣNa ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	2.0±0.3	1.4±0.3	1.45±0.15	<1.0	3.9±0.2	1.8±0.1
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	3.04±0.48	2.97±0.59	3.20±0.42	3.18±0.27	2.57±0.22	3.56±0.13
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0.05±0.00	0.06±0.01	0.20±0.01	0.11±0.00	<0.05	0.12±0.01
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³	0.017±0.002	0.009±0.004	0.005±0.001	0.006±0.001	<0.002	<0.002
P общий, мг/дм ³	0.047±0.017	0.037±0.014	0.017±0.003	0.016±0.002	0.007±0.001	0.007±0.001
ХПК, мгО ₂ /дм ³	8.2±3.1	7.4±1.6	18.7±0.6	18.3±0.3	19.6±1.1	13.8±0.26
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	0.8±0.1	0.8±0.1	1.1±0.1	0.8±0.1	1.0±0.1	0.5±0.0
ПО, мгО/дм ³	6.9±0.3	7.2±0.3	9.4±0.3	9.9±0.1	5.6±0.1	6.7±0.6
Хл “а”, мг/м ³	0.55±0.08	0.34±0.08	0.59±0.10	0.44±0.17	0.46±0.12	0.26±0.06

Таксономический состав. Исследованные озера близки по таксономическому составу донных беспозвоночных. В макрозообентосе оз. Кокша выявлено 76 видов из 9 классов беспозвоночных: Turbellaria (1), Nematoda (1), Oligochaeta (10), Hirudinea (5), Bivalvia (2), Gastropoda (6), Arachnida (5), Crustacea (2) и Insecta (44). Наиболее широко представлены насекомые, из них максимальное количество видов отмечено для отряда Diptera (34), также отмечены Coleoptera (4), Trichoptera (2), Heteroptera (2), Ephemeroptera (1) и Megaloptera (1). Меньшее количество видов макробеспозвоночных обнаружено в зообентосе оз. Светлое. Всего отмечено 55 видов из 9 классов беспозвоночных. Наибольшее количество видов обнаружено в классе насекомых, он насчитывал 31 вид. Преобладали двукрылые (24 вида), представленные сем. Chironomidae, далее следовали ручейники (4 вида), по 1 виду приходилось на отряды поденок, жуков и большекрылок. Помимо насекомых отмечены турбеллярии (1), нематоды (1), олигохеты (10), пиявки (1), двустворчатые (2) и брюхоногие (3) моллюски, паукообразные (4) и ракообразные (2). В озерах Кокша и Светлое чаще других таксонов отмечены двукрылые из сем. Chironomidae (100% проб), олигохеты сем. Tubificidae (80%) и Gammaridae (52%). Практически для всех подсемейств хирономид отмечена высокая встречаемость (Chironominae – 94%, Tanypodinae – 80%, Orthocladiinae – 78%, Diamesinae – 55%). Чаще остальных отмечены виды: *Tanytarsus pseudolestagei* Shilova (74%), *Procladius* sp. (57%), *Sergentia* gr. *longiventris* (55.5%), *Macropelopia* sp. (52%), *Psectrocladius* sp.

(48%), *Cladotanytarsus* gr. *mancus* (37%), *Pseudodiamesa* gr. *nivosa* (33%). Из олигохет доминировали *Tubifex tubifex* Müller (57%), *Limnodrilus* sp. (50%), *Spirosperma ferox* Eisen (37%). Удельное видовое богатство зообентоса в озерах Кокша и Светлое было высоким. В оз. Кокша среднее количество видов в пробе составляло 12.15 ± 0.79 , в оз. Светлое – 11.27 ± 0.65 . В озерах отмечены холодолюбивые, обитающие преимущественно в предгорных и горных водоемах личинки хирономид и олигохет (*Prodiamesa olivacea* (Meig.), *Pseudodiamesa* gr. *nivosa*, *Macropelopia* sp., *S.* gr. *longiventris*, *Stylodrilus* sp.). Таксономический состав исследованных озер приведен в предыдущих исследованиях [Вдовина, Безматерных, 2024].

Количественные характеристики и сезонная динамика макрозообентоса. Для озер Кокша и Светлое характерны высокие значения численности и биомассы зообентоса. По уровню развития макробеспозвоночных озера соответствовали эвтрофным водоемам. Максимальные значения количественных показателей отмечены в июле (рис. 2).

Во все сезоны 2022 г. по численности в озерах доминировали хирономиды, максимум их развития также приходился на июль. Значительный вклад в численность зообентоса также вносили олигохеты (табл. 5). При выраженном доминировании хирономид в течение периода исследований, их доля в биомассе бентоса существенно меняется. В мае в бентосе оз. Кокша основной вклад в биомассу вносили поденки и хирономиды, в июле и сентябре – пиявки и хирономиды.

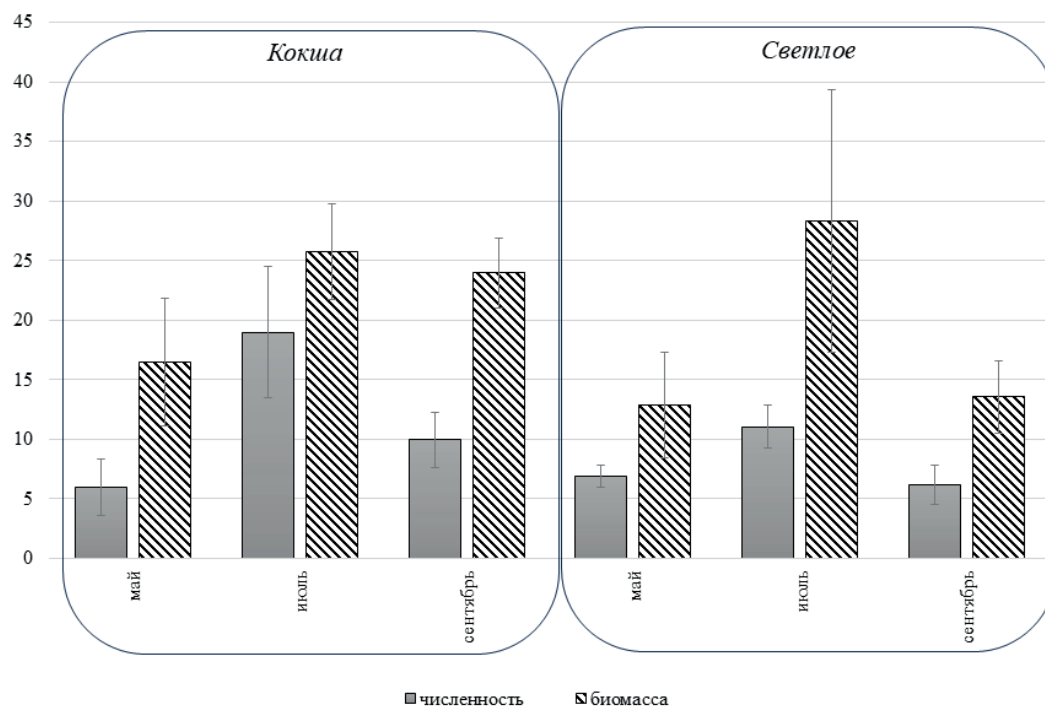


Рис. 2. Сезонная динамика численности и биомассы зообентоса исследованных озер (2022 г.)

Fig. 2. Seasonal dynamics of the abundance and biomass of zoobenthos in the studied lakes (2022)

В оз. Светлое в мае большую часть биомассы составляли олигохеты и хирономиды, также весомый вклад вносили ракообразные, поденки и ручейники. Высокие значения биомассы олигохет достигались за счет присутствия большого количества крупных особей *Eiseniella tetraedra* (Savigny). В июле и сентябре возрастала роль хирономид, также достаточно высокие значения отмечены для ракообразных и ручейников.

При сравнении средних показателей обилия отдельных таксонов зообентоса в один и тот же период исследования 2018 и 2022 гг. наблюдалась тенденция к увеличению доли олигохет, а также к снижению количественных показателей двусторчатых моллюсков и ракообразных.

Биоиндикация. При биоиндикации озер использовались методы, относящиеся к четырем основным направлениям: 1) оценка

видового разнообразия; 2) индикация по соотношению показателей обилия отдельных таксонов; 3) расчет биотических индексов; 4) оценка трофического статуса водного объекта по биомассе.

Наиболее оптимальным индексом видового разнообразия считается индекс Шеннона [Павлюк, 2024]. По этому показателю сообщества макробеспозвоночных исследованных озер были высокоорганизованы. Средние значения индекса соответствовали II классу качества вод – «чистым» водоемам (табл. 6). Максимальные значения индекса Шеннона отмечены в прибрежье озер и достигали 3.9 бит/экз.

Из индексов, основанных на показателях обилия отдельных таксонов, использовали индекс Гуднайта и Уитлеа, а также индекс Балускиной. Средние значения олигохетного индекса соответствовали I классу качества вод, вода озер характеризовалась как «очень чистая».

Таблица 5

Сезонная динамика численности и биомассы отдельных таксонов зообентоса

Table 5

Seasonal dynamics of abundance and biomass of individual zoobenthos taxa

Озеро	Таксон	Численность (%)				Биомасса (%)			
		Месяц				Месяц			
		V	VII	IX	IX	V	VII	IX	IX
		2022	2022	2018	2022	2022	2022	2018	2022
Кокша	Хирономиды	66.3	81.6	56.0	60.4	22.1	36.3	31.0	20.6
	Олигохеты	24.5	10.7	16.0	26.5	8.0	9.0	3.0	7.7
	Двустворчатые моллюски	1.8	1.5	7.0	3.8	2.7	1.6	22.0	1.7
	Ракообразные	2.5	3.5	6.0	3.5	8.8	7.0	15.0	10.4
	Поденки	3.0	1.1	14.0	1.6	38.3	13.1	27.0	18.0
	Пиявки	0.7	0.7	0.3	1.5	5.1	28.1	0.4	36.4
	Прочие	1.2	0.9	0.7	2.7	15.0	4.9	1.6	5.2
Светлое	Хирономиды	64.4	77.6	77.0	72.5	19.5	39.1	64.5	46.6
	Олигохеты	24.0	9.5	15.0	13.6	44.7	11.3	5.0	14.0
	Двустворчатые моллюски	0.6	0.8	1.95	1.7	2.2	0.9	9.0	2
	Ракообразные	2.1	9.7	4.95	4.1	11.8	18.1	13.0	13.6
	Поденки	1.0	0.2	1.0	1.6	10.0	1.0	3.0	16.1
	Ручейники	4.3	0.7	0.05	0.0	10.0	27.0	3.0	0.0
	Прочие	3.6	1.5	0.05	6.5	1.8	2.6	2.5	7.7

На мягких грунтах в центральных частях озер наблюдалось увеличение его значений в различные сезоны до 80%. Значения индекса Балушкиной в озерах варьировали от 0.2 до 8.4, средние показатели индекса соответствовали умеренно-загрязненным водам.

Биотические индексы показали сходные результаты, индексы достоверно

($p < 0.05$) коррелировали между собой (MMIF–BMWP, $r = 0.62$; BMWP–ASPT, $r = 0.84$). Средние значения большинства индексов характеризовали воду озер как умеренно-загрязненную. По уровню развития донных беспозвоночных исследованные водоемы относились к «повышенному» и «высокому» классам продуктивности.

Таблица 6

Биоиндикационные показатели макрозообентоса исследованных озер (2022 г.)

Table 6

Bioindication metrics of macrozoobenthos of the studied lakes (2022)

Показатель	Число видов в пробе	H	MMIF	BMWP	ASPT	IB	K, %	Биомасса, г/м ²
Кокша	12.15±0.79	2.34±0.12 II	0.52±0.01 III	52±1.8 III	4.1±0.15 III	1.50±0.24 УЗ	13.5±4.5 I	20.72±2.47 БЭТ
Светлое	11.27±0.65	2.22±0.12 II	0.53±0.04 III	52±6.5 III	4.6±0.41 II	2.03±0.48 УЗ	19.4±3.8 I	17.25±4.33 АЭТ

Примечание. Качество воды: уз – умеренно-загрязненные; БЭТ – бета-эвтрофный; АЭТ – альфа-эвтрофный. Класс качества воды: I – очень чистые; II – чистые; III – умеренно загрязненные.

Метрики: H – коэффициент видового разнообразия Шеннона, MMIF – Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders; BMWP – Monitoring Working Party Index; ASPT – Average Score Per Taxon Index; IB – Индекс Балушкиной; K – олигохетный индекс Гуднайта и Уитлеа

Воздействие абиотических факторов. Проанализирована связь 9 основных показателей структуры зообентоса (индекс видового разнообразия, численность и биомасса в целом, а также численность и биомасса основных групп: олигохет, моллюсков, хирономид) с 17 гидрофизическими и гидрохимическими показателями (температура, pH, Eh, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\sum \text{N}^{+} + \text{K}^{+}$, NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , $\text{P}_{\text{общий}}$, минерализация, перманганатная окисляемость (ПО), химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК₅) воды).

Проведенный корреляционный анализ выявил достоверные ($p < 0.05$) отрицательные корреляции перманганатной окисляемости с общей численностью зообентоса ($r = 0.52$), численностью моллюсков ($r = 0.46$), численностью ($r = 0.62$) и биомассой ($r = 0.59$) хирономид. Выявлено достоверное отрицательное влияние фосфатов на численность ($r = 0.65$) и биомассу ($r = 0.64$) моллюсков. Нитраты отрицательно коррелировали с численностью хирономид ($r = -0.53$), аммоний с биомассой хирономид ($r = -0.51$). Отмечено положительное влияние минерализации воды и составляющих её компонентов на обилие различных таксонов макробеспозвоночных. Ионы кальция достоверно коррелировали с численностью ($r = 0.66$) и биомассой ($r = 0.54$) моллюсков. На численность олигохет благоприятно влияли повышение минерализации воды ($r = 0.58$) и концентрации гидрокарбонатов ($r = 0.48$).

Многомерная ординация позволила провести анализ зависимости основных характеристик беспозвоночных в исследуемых озерах относительно векторов

градиента факторов среды (рис. 3). Проведенный анализ показал отрицательное влияние по первой оси (78.9% общей вариации признаков) биогенных элементов (NO_3^- , NH_4^+), содержания легкоокисляемых органических веществ (ПО, ХПК) и окислительно-восстановительного потенциала на численность и биомассу хирономид в исследуемых озерах. Кроме того, отмечены положительные корреляции основных ионов (SO_4^{2-} , $\sum \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$) и ионов Mg^{2+} воды с индексом видового разнообразия, а также количественными показателями олигохет и моллюсков.

Обсуждение

За счет питания подземными водами горной р. Катунь, в озерах Кокша и Светлое сформировалась уникальная фауна донных беспозвоночных, сочетающая признаки озер, расположенных на различных высотах. Для донного населения водоемов характерно доминирование комаров-звонцов семейств Chironominae и Tanypodinae, а также олигохет сем. Tubificidae, что свойственно равнинным озерам [Вдовина, Безматерных, 2020]. В тоже время большой процент встречаемости отмечен для семейств Orthoclaadiinae и Diamesinae, что характерно для озер, расположенных на большой высоте [Vdovina et al., 2022]. Доминирование амфипод является отличительным признаком озер Алтае-Саянской горной страны [Лепнева, 1933; Вершинин, 1979; Яныгина, Крылова, 2008], а также других водоемов, расположенных в предгорном и горном поясах [Carcamo et al., 2019; Miserendino, Pizzolon, 2000; Scheibler et al., 2014].

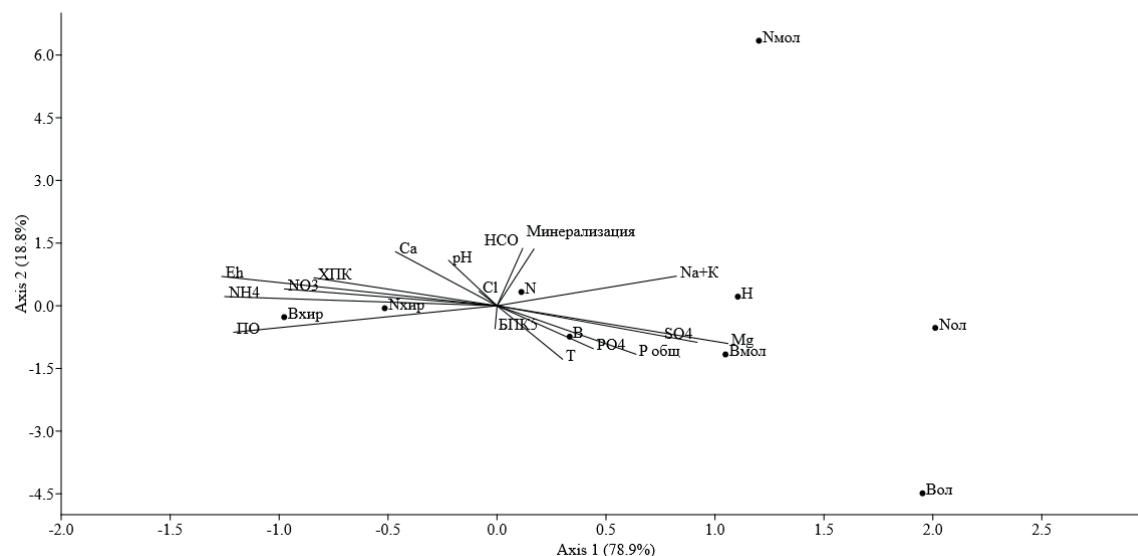


Рис. 3. Ординационная диаграмма ССА взаимосвязи факторов среды и основных характеристик макробеспозвоночных исследованных озер.

Факторы: *T* – температура воды, *БПК5* – биохимическое потребление кислорода, *ХПК* – химическое потребление кислорода, *pH* – водородный показатель, *NO3* – азот нитратный, *NH4* – аммоний, *PO4* – фосфаты, *Робщ* – общий фосфор, *ПО* – перманганатная окисляемость, *Eh* – окислительно-восстановительный потенциал, *HCO* – гидрокарбонаты, *Ca* – ионы кальция, *Mg* – ионы магния, *Cl* – ионы хлора, *SO4* – сульфат-ион, *Na+K* – сумма ионов натрия и калия.

Характеристики макрозообентоса: *H* – индекс видового разнообразия, *N* – общая численность зообентоса, *B* – общая биомасса зообентоса; *Nхир* – численность хирономид, *Вхир* – биомасса хирономид, *Нол* – численность олигохет, *Вол* – биомасса олигохет, *Нмол* – численность моллюсков, *Вмол* – биомасса моллюсков

Fig. 3. CCA ordination diagram of interrelation of environmental factors and main characteristics of macroinvertebrates of studied lakes.

Factors: *T* – water temperature, *BOD5* – biochemical oxygen demand, *COD* – chemical oxygen demand, *NO3* – nitrate nitrogen, *NH4* – ammonium, *PO4* – phosphates, *P* – total phosphorus, *PO* – permanganate oxidability, *Eh* – redox potential, *HCO* – hydrocarbonates, *Ca* – calcium ions, *Mg* – magnesium ions, *Cl* – chloride ions, *SO4* – sulfate ion, *Na+K* – sum of sodium and potassium ions.

Main characteristics macroinvertebrates: *H* – species diversity index, *N* – number of zoobenthos, *B* – biomass of zoobenthos; *Nch* – number of chironomids, *Bch* – biomass of chironomids, *Nol* – number of oligochaetes, *Bol* – biomass of oligochaetes, *Nmol* – number of mollusks, *Bmol* – biomass of mollusks

Указанные признаки, а также наличие в составе зообентоса холодолюбивых таксонов беспозвоночных указывают на черты как равнинных, так и горных озер.

В исследованных озерах максимум обилия зообентоса зарегистрирован в июле, что в первую очередь связано с увеличением количественных показателей хирономид. С конца мая численность хирономид постепенно возрастает в связи с отрождением нового поколения и доходит до максимума в июле, затем численность

опять понижается. Аналогичная тенденция была отмечена также и для других озер, например, Восточной Европы [Ерёмова, Орловская, 1997; Беляков, Бажора, 2016]. Большой вклад в биомассу зообентоса вносили крупные личинки ручейников *Limnephilus rhombicus* (L.) генерации прошлого года, имеющие большую биомассу, вылет имаго которых приходится на июль. Также большой процент биомассы приходился на пиявок, у которых в середине лета период размножения.

При биоиндикации экологического состояния озер сходные результаты показали биотические индексы и индекс Балушкиной, эти показатели оценили качество воды озер как умеренно-загрязненное. Расчет биотических индексов – один из наиболее распространенных подходов в оценке качества поверхностных вод суши. Для оценки экологического состояния озер Кокша и Светлое были выбраны широко используемые индексы: MMIF, ASPT и BMWP. Преимущество Фламандского мультиметрического индекса состоит в том, что он рассчитывается для определенного типа рек или озер. Индексы ASPT и BMWP первоначально были разработаны для определения качества речных вод Великобритании, однако исследования последних лет показали пригодность этих индексов для оценки озер по всему миру [Poikane et al., 2016; Böhmer et al., 2018; Ekoko et al., 2022; Tretjakova et al., 2023]. Индекс Балушкиной оценивает загрязненность воды водоемов по соотношению численности представителей отдельных подсемейств хирономид. По использованию этого индекса для биоиндикации вод существует множество противоречивых мнений, этот метод показал себя малоприменимым на многих водоемах [Головатюк, Зинченко, 2011]. В исследованных озерах индекс Балушкиной показал хорошие результаты за счет доминирования различных подсемейств хирономид.

При сопоставлении нормированных значений индекса Шеннона и олигохетного индекса Гуднайта и Уитлеа с другими биоиндикационными показателями отмечены более высокие классы качества воды озер. Зачастую на значения индекса

Шеннона влияет не качество воды, а другие экологические факторы водной среды, что затрудняет интерпретацию полученных величин, поэтому использование этого индекса должно проводиться в совокупности с другими методами биоиндикации. Олигохетный индекс дает значительную погрешность при определении качества воды, в странах Евросоюза практически не используется из-за малого числа градаций качества [Семенченко, Разлуцкий, 2011].

В озерах Кокша и Светлое отмечен высокий уровень развития зообентоса. Этот критерий не является показательным в данных озерах. Своеобразие гидрологического режима, разнообразие биотопов этих озер обусловило высокое видовое разнообразие и количественное развитие макробеспозвоночных. Согласно теории пространственной гетерогенности большая пространственная неоднородность обеспечивает разнообразные субстраты для жизни, питания, размножения и защиты от хищничества донных беспозвоночных [Finlayson et al., 2010].

В целом, высокий уровень видового разнообразия и количественного развития зообентоса, а также значения биотических индексов свидетельствуют о благоприятных условиях для развития зообентоса в исследованных озерах, что подтверждает данные гидрохимических исследований (ИЗВ6), согласно которым воды этих озер относится 1 классу качества. Но в то же время, проведенные корреляционный и канонический анализы выявили негативное влияние на показатели макробеспозвоночных содержания легкоокисляемых органических веществ и биогенных элементов.

Увеличенная концентрации этих параметров в поверхностных водах может возникать вследствие их использования для сельскохозяйственных целей. Исследованные озера являются местами зимовки водоплавающих птиц, где служащие заказника обильно подкармливают зимующих лебедей, в результате чего наблюдаются участки дна озер, покрытые полуразложившимся комбикормом. Внушает опасение и тот факт, что в озерах в течение 5 лет заметно снизились средние показатели обилия двусторчатых моллюсков и ракообразных, являющихся индикаторами качества воды водоемов. На данном этапе значимых последствий антропогенного воздействия по показателям зообентоса не выявлено, но при увеличении нагрузки состояние экосистем озер может значительно ухудшиться.

На основании анализа полученных лимнологических данных предложены рекомендации по рациональному использованию изученных озер. Необходимо:

- ограничить сельскохозяйственную нагрузку на водосборе оз. Кокша (следует отодвинуть обрабатываемые сельскохозяйственные угодья от уреза воды на 300–500 м, чтобы уменьшить поступление в озеро удобрений и ядохимикатов);
- ввести контроль рекреационной нагрузки и организовать более рациональное кормление зимующих лебедей на оз. Светлое.

Заключение

Для изученных гидрохимических характеристик установлена естественная внутригодовая динамика, обусловленная сменой гидрологических и биологических сезонов, а также характером антропоген-

ной нагрузки. За счет своеобразия гидрологического режима и разнообразия биотопов в озерах сформировалась уникальная фауна донных беспозвоночных, сочетающая признаки озер, расположенных на различных высотах. Для озер Кокша и Светлое характерно высокое видовое разнообразие и значительный уровень развития макробеспозвоночных.

Наибольшее влияние на развитие сообществ макрозообентоса в исследованных озерах оказывали биогенные элементы и содержание легкоокисляемых органических веществ. Увеличение этих показателей в будущем может оказать серьезное влияние на сообщества макробеспозвоночных, о чем свидетельствуют отрицательные корреляции между этими показателями и количественными характеристиками зообентоса. Интенсивное антропогенное воздействие, такое как рекреационное и сельскохозяйственное, негативно влияют на экологическое состояние озер. По результатам анализа полученных лимнологических данных разработаны рекомендации по рациональному использованию изученных озер, которые включают контроль рекреационной и сельскохозяйственной нагрузки на озера, организацию рационального кормления зимующих лебедей.

Высокий уровень видового разнообразия и количественного развития зообентоса, а также значения биотических индексов свидетельствуют о благоприятной экологической обстановке в исследованных озерах, что согласуется с данными о содержании в воде хлорофилла «а» и гидрохимическими показателями (ИЗВ6), согласно которым воды этих озер относится 1 классу качества.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Исследование разнообразия и структурно-функциональной организации водных экосистем для сохранения и рационального использования водных и биологических ресурсов Западной Сибири»).

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ИВЭП СО РАН М.С. Губареву, Е.Н. Крыловой, Р.К. Свиридову и М.В. Лассому за помощь в проведении полевых работ.

Список литературы

- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
- Балушкина Е.В. Хириноиды как индикаторы степени загрязнения вод // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: ЗИН АН СССР. 1976. С. 106
- Безматерных Д.М., Вдовина О.Н. Гидрохимический режим и донные осадки предгорных озер Русского Алтая в 2022 году // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. №1. С.32–45. doi: 10.35567/19994508-2024-1-32-45
- Беляков В.П., Бажора А.И. Структурные и функциональные характеристики зообентоса в озерах, расположенных в природных и урбанистических ландшафтах Северо-Западного региона России // Биологический журнал Сибирского федерального университета. 2016. Т. 10, № 4. С. 484–498. doi: 10.17516/1997-1389-2016-9-4-484-498
- Вдовина О.Н., Безматерных Д.М. Сообщества донных макробеспозвоночных высокогорных и среднегорных озер Русского Алтая // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2020. № 2. С. 4–13.
- Вдовина О.Н., Безматерных Д.М. Таксономический состав макрозообентоса низкогорных озер Русского Алтая // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024. № 3 (74). С. 50–70. doi: 10.24412/2410-1192-2024-17405
- Вершинин В.К. Зообентос некоторых водоемов Горного Алтая и его роль в питании интродуцированной пеляди // Биологические ресурсы Алтайского края и пути их рационального использования: Тез. докл. конф. Екатеринбург: Полиграфист, 1979. С. 123–124.
- Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250-1163. М.: 1986. 5 с.
- Галахов В.П., Губарев М.С. Водный баланс озера Светлое (Лебединное) // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2018. № 3 (50). С. 10–16.
- Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д. Биотические индексы и метрики в оценки качества вод малых рек Нижнего Поволжья (на примере рек Байтуган, Камышла, Сосновка) // Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна. Тольятти: Кассандра. 2011. С. 160.
- ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды

водоемов и водотоков. М.: Госкомитет по стандартам, 1982. 12 с.

ГОСТ 17.1.4.02-90 Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 15 с.

ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартиформ, 2015. 19 с.

Губарев М.С., Безматерных Д.М., Свиридов Р.К. Современные данные о морфометрических характеристиках шести предгорных озер Русского Алтая // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2023. № 68(1). С. 5–15. doi: 10.24412/2410-1192-2023-16801

Ерёмова Н.Г., Орловская О.А. Сезонная динамика численности и биомассы зообентоса Нарочанских озер // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2: Химия. Биология. География. 1997. № 3. С. 26–30.

Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2007. 395 с.

Красная книга Алтайского края. Т. 3. Особо охраняемые природные территории. Барнаул, 2009. 273 с.

Лепнева С.Г. Донная фауна горных озер района Телецкого озера // Исследования озер СССР. Вып. 3. Л.: Изд-во ГГИ, 1933. С. 135–168.

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / Ред. А.В. Крылова Ярославль: Филигрань, 2024. 592 с. doi: 10.47021/monography_670cd0a47a4437.24064368

Методы изучения истории озер. Л.: Наука, 1986. 254 с.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, №4. С. 62–76.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос. М.-СПб: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России: в 6 т.: Т. 1–6. Л.: ЗИН РАН. 1994–2004.

Павлюк Т.В. Актуальные вопросы биоиндикации водных экосистем: российский опыт и перспективы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. №4. С. 108. doi: 10.35567/19994508-2024-4-108-126

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 2 / Ред. Л.В. Боевой. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. 720 с. 11.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1 / Ред. Л.В. Боевой. Ростов-на-Дону, 2009. 1150 с.

Рычков В.М., Рычкова С.И. Феномен реки Кокши на Алтае // Природные ресурсы Горного Алтая. 2004. № 2. URL: <http://altay-geojournals.ru/wp-content/uploads/2015/02/2-20.pdf>. (дата обращения: 22.04.2023).

Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество пресных вод. Минск:

Беларуская навука, 2011. 328 с.

Яныгина Л.В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: воздействие природных и антропогенных факторов: Дис. ... докт. биол. наук. Владивосток. 2014. 399 с.

Яныгина Л.В., Крылова Е.Н. Биоиндикация экологического состояния предгорных водоемов Алтая по зообентосу // Ползуновский вестник. 2006. № 2. С. 365–368.

Böhmer J., Chiriac G., Varbiro G. et al. 2018. Intercalibrating the National Classifications of Ecological Status for Eastern Continental Lakes: Biological Quality Element: Benthic Invertebrates. Publications Office of the European Union: Luxembourg. 54 p.

Carcamo R.J., Contador T., Gañan M., Troncoso P.C., Marquez M.A., Convey P., Kennedy J., Rozzi R. Altitudinal gradients in Magellanic sub-Antarctic lagoons: the effect of elevation on freshwater macroinvertebrate diversity and distribution // Peer. J. 2019. Vol. 7. e7128. doi: 10.7717/peerj.7128

Ekoko W.A., Qu G.J., Liu M.H. et al. Benthic macroinvertebrate diversity and water quality bioassessment of the central lake in Qingtongxia reservoir wetland nature reserve, China // Applied ecology and environmental research. 2022. Vol. 20 (4). P. 3379. doi: 10.15666/aer/2004_33793392

Finlayson M., Harris J., McCartney M. et al. Report on Ramsar visit to Poyang Lake Ramsar site. BeiJing: Secretariat of the Ramsar Convention. 2010. 34 p.

Hammer O., Harper D., Ryan P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4, no. 1. P. 1–9.

Miserendino L.M., Pizzolon L.A. Macroinvertebrates of a fluvial system in Patagonia: altitudinal zonation and functional structure // Archiv für Hydrobiologie. 2000. Vol. 150. P. 55–83.

Poikanea S., Johnson R.K., Sandin L. et al. Benthic macroinvertebrates in lake ecological assessment: A review of methods, intercalibration and practical recommendations // Science of the Total Environment. 2016. Vol. 543. P. 123. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.021

Scheibler E.E., Claps M.C., Roig S.A. Temporal and altitudinal variations in benthic macroinvertebrate assemblages in an Andean river basin of Argentina // Journal of Limnology. 2014. Vol. 73. P. 76–92. doi: 10.4081/jlimnol.2014.789

Tretjakova R., Paidere A., Brakovska A. Assessment by Macroinvertebrates of the Ecological Quality of Shallow Lake with Rich Sapropel Sediments // Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference. 2023. Vol. 1. P. 228. doi: 10.17770/etr2023vol1.7315

Vdovina O.N., Yanygina L.V., Bezmaternykh D.M. Composition and structure of lake macroinvertebrate communities in different altitudinal zones of Russian Altai // Acta Biologica Sibirica. 2022. Vol. 8. P. 531–555. doi: 10.5281/zenodo.7714667

References

Alekin O.A. Osnovy gidrohimii [Fundamentals of hydrochemistry]. L.: Gidrometeoizdat,

1970. 444 p. (in Russian).

Balushkina E.V. Hironomidy kak indikator stepeni zagryazneniya vod [Chironomides as indicators of the degree of water pollution] // *Metody biologicheskogo analiza presnykh vod* [Methods of biological analysis of fresh waters]. L.: ZIN AN SSSR. 1976. P. 106. (in Russian).

Bezmaternykh D.M., Vdovina O.N. Gidrohimicheskij rezhim i donnye osadki predgornykh ozer Russkogo Altaya v 2022 godu [Hydrochemical regime and bottom sediments of the foothill lakes of the Russian Altai in 2022] // *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management]. 2024. No. 1. P. 32–45. (in Russian). doi: 10.35567/19994508-2024-1-32-45

Belyakov V.P., Bazhora A.I. Strukturnye i funkcional'nye harakteristiki zoobentosa v ozerah, raspolozhennykh v prirodnykh i urbanisticheskikh landshaftah Severo-Zapadnogo regiona Rossii [Structural and functional characteristics of zoobenthos in lakes located in natural and urban landscapes of the Northwestern region of Russia] // *Biologicheskij zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* [Journal of Siberian Federal University]. 2016. Vol. 10, no. 4. P. 484–498. (in Russian). doi: 10.17516/1997-1389-2016-9-4-484-498

Vdovina O.N., Bezmaternykh D.M. Soobshchestva donnykh makrobespozvonochnykh vysokogornykh i srednegornykh ozer Russkogo Altaya [Communities of benthic macroinvertebrates of high-mountain and middle-mountain lakes of the Russian Altai] // *Rybovodstvo i rybnoe hozyajstvo* [Fish farming and fishery]. 2020. No. 2. P. 4–13. (in Russian).

Vdovina O.N., Bezmaternykh D.M. Taksonomicheskij sostav makrozoobentosa nizkogornykh ozer Russkogo Altaya [Taxonomic composition of macrozoobenthos of low-mountain lakes of the Russian Altai] // *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Altai branch of the Russian Geographical Society]. 2024. No. 3 (74). P. 50–70. (in Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2024-17405

Vershinin V.K. Zoobentos nekotorykh vodoyemov Gornogo Altaya i yego rol' v pitanii introdutsirovannoy pelyadi [Zoobenthos of some reservoirs of the Altai Mountains and its role in the nutrition of introduced peled] // *Biologicheskiye resursy Altayskogo kraya i puti ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya* [Biological resources of the Altai Territory and ways of their rational use: Abstract. report conf.]. Ekaterinburg: Polygraphist, 1979. P. 123–124. (In Russian).

Vremennye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoj ocenke kachestva poverhnostnykh i morskikh vod [Temporary guidelines for the comprehensive assessment of surface and marine water quality]. Approved by the USSR State Committee for Hydrometeorology on 22.09.1986. No. 250-1163. Moscow, 1986. 5 p. (in Russian).

Galakhov V.P., Gubarev M.S. Vodnyy balans ozera Svetloye (Lebedinnoye) [Water balance of Lake Svetloe (Lebedinnoye)] // *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Altai branch of the Russian Geographical Society]. 2018. No. 3 (50). P. 10–16. (in Russian).

Golovatyuk L.V., Zinchenko T.D. Bioticheskie indeksy i metriki v ocenke kachestva vod malykh rek Nizhnego Povolzh'ya (na primere rek Bajtugan, Kamyshla, Sosnovka) [Biotic

indices and metrics in assessing the water quality of small rivers of the Lower Volga region (on the example of the Baytugan, Kamyshla, Sosnovka rivers)] // *Osobennosti presnovodnykh ekosistem mal'kh rek Volzhskogo bassejna* [Features of freshwater ecosystems of small rivers of the Volga basin]. Tol'yatti: Kassandra. 2011. P. 160. (in Russian).

GOST 17.1.3.07-82 *Ohrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov* [Nature protection. Hydrosphere. Rules for water quality control of reservoirs and watercourses]. Moscow: State Committee for Standards, 1982. 12 p. (in Russian).

GOST 17.1.4.02-90 *Voda. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya hlorofilla a* [Water. Method of Spectrophotometric Determination of Chlorophyll a]. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 1999. 15 p. (in Russian).

GOST 12536-2014 *Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava* [Soils. Methods of Laboratory Determination of Granulometric (Grain) and Microaggregate Composition]. M.: Standartinform, 2015. 19 p. (in Russian).

Gubarev M.S., Bezmaternykh D.M., Sviridov R.K. *Sovremennye dannye o morfometricheskikh harakteristikah shesti predgorn'nykh ozer Russkogo Altaya* [Modern data on morphometric characteristics of six foothill lakes of the Russian Altai] // *Izvestiya Altajskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Altai branch of the Russian Geographical Society]. 2023. No. 68(1). P. 5–15. (in Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2023-16801

Eryomova N.G., Orlovskaya O.A. *Sezonnaya dinamika chislennosti i biomassy zoobentosa Narochanskih ozer* [Seasonal dynamics of the abundance and biomass of zoobenthos of the Naroch lakes] // *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 2: Himiya. Biologiya. Geografiya* [Bulletin of the Belarusian State University, Series 2: Chemistry. Biology. Geography]. 1997. No. 3. P. 26–30. (in Belarus).

Kitaev S.P. *Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ihtologov* [Basic general limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk. Russia. 2007. 395 p. (in Russian).

Krasnaya kniga Altajskogo kraja. T. 3. *Osobo ohranyaemye prirodnye territorii* [The Red Book of the Altai Territory. Vol. 3. Specially protected natural territories.]. Barnaul, 2009. 273 p. (in Russian).

Lepneva S.G. *Donnaya fauna gorn'nykh ozer rayona Teletskogo ozera* [Bottom fauna of mountain lakes in the Lake Teletskoye region] // *Issledovaniya ozer SSSR* [Research of lakes of the USSR]. Vol. 3. Leningrad: Publishing house of the State Historical Institute, 1933. P. 135–168. (in Russian).

Metody gidrobiologicheskikh issledovaniy vnutrennih vod [Methods of hydrobiological studies of inland waters] / Ed. A.V. Krylova Yaroslavl': Filigran', 2024. 592 p. (in Russian). doi: 10.47021/monography_670cd0a47a4437.24064368

Metody izucheniya istorii ozer [Methods of studying the history of lakes]. Leningrad:

Nauka, 1986. 254 p. (in Russian).

Oksiyuk O.P., Zhukinskij V.N., Braginskij L.P. et al. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikaciya kachestva poverhnostnyh vod sushi [Complex ecological classification of the quality of terrestrial surface waters] // *Gidrobiol. zhurn.* [Journal of Hydrobiology]. 1993. Vol. 29 (4). P. 62–76. (in Russian).

Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnyh vod Evropejskoj Rossii. T. 2. Zoobentos [Determinant of zooplankton and zoobenthos in fresh waters of European Russia. Vol. 2. Zoobenthos]. M.-SPb: Tovarishestvo nauchnyh izdanij KMK, 2016. 457 p. (in Russian).

Opredelitel' presnovodnyh bespozvonochnyh Rossii: v 6 t.: T. 1–6, 1994–2004 [Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands (1992–2004): Vol 1–6]. Zoological institute of RAS. St. Petersburg, Russia. (in Russian).

Pavlyuk T.V. Aktual'nye voprosy bioindikacii vodnyh ekosistem: rossijskij opyt i perspektivy [Topical issues of bioindication of aquatic ecosystems: Russian experience and prospects] // *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management]. 2024. No. 4. P. 108. (in Russian). doi: 10.35567/19994508-2024-4-108-126

Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi. Ch. 2 [Manual on chemical analysis of land surface waters. Is. 2] / Ed. L.V. Boevoj. Rostov-na-Donu: Izd-vo YUFU, 2012. 720 p. 11. (in Russian).

Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi [Manual on chemical analysis of land surface waters. Is. 1] / Red. L.V. Boevoj. Rostov-na-Donu, 2009. 1150 p. (in Russian).

Rychkov V.M., Rychkova S.I. Fenomen reki Kokshi na Altaye [The phenomenon of the Koksha River in Altai] // *Prirodnyye resursy Gornogo Altaya* [Natural resources of Gorny Altai]. 2004. No. 2. URL: <http://altay-geojournals.ru/wp-content/uploads/2015/02/2-20.pdf>. (accessed: 22.04.2023). (in Russian).

Semenchenko V.P., Razluckij V.I. Ekologicheskoe kachestvo presnyh vod [Ecological quality of fresh waters]. Minsk: Belaruskaya navuka, 2011. 328 p. (in Belarus).

Yanygina L.V. Zoobentos bassejna Verhnej i Srednej Obi: vozdejstvie prirodnyh i antropogennyh faktorov [Zoobenthos of the Upper and Middle Ob basin: effects of natural and anthropogenic factors]: DSc (Dr. of Biol.) thesis. Vladivostok. 2014. 399 p. (in Russian).

Yanygina L.V., Krylova E.N. Bioindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya predgornyx vodoyemov Altaya po zoobentosu [Bioindication of the ecological state of foothill reservoirs of Altai based on zoobenthos] // *Polzunovskiy vestnik*. 2006. No. 2. P. 365–368. (in Russian).

Böhmer J., Chiriac G., Varbiro G. et al. 2018. Intercalibrating the National Classifications of Ecological Status for Eastern Continental Lakes: Biological Quality Element: Benthic Invertebrates. Publications Office of the European Union: Luxembourg. 54 p.

Carcamo R.J., Contador T., Gañan M., Troncoso P.C., Marquez M.A., Convey P., Kennedy J., Rozzi R. Altitudinal gradients in Magellanic sub-Antarctic lagoons: the effect of elevation

on freshwater macroinvertebrate diversity and distribution // Peer. J. 2019. Vol. 7. e7128. doi: 10.7717/peerj.7128

Ekoko W.A., Qu G.J., Liu M.H. et al. Benthic macroinvertebrate diversity and water quality bioassessment of the central lake in Qingtongxia reservoir wetland nature reserve, China // Applied ecology and environmental research. 2022. Vol. 20 (4). P. 3379. doi: 10.15666/aer/2004_33793392

Finlayson M., Harris J., McCartney M. et al. Report on Ramsar visit to Poyang Lake Ramsar site. BeiJing: Secretariat of the Ramsar Convention. 2010. 34 p.

Hammer O., Harper D., Ryan P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4, no. 1. P. 1–9.

Miserendino L.M., Pizzolon L.A. Macroinvertebrates of a fluvial system in Patagonia: altitudinal zonation and functional structure // Archiv für Hydrobiologie. 2000. Vol. 150. P. 55–83.

Poikanea S., Johnson R.K., Sandin L. et al. Benthic macroinvertebrates in lake ecological assessment: A review of methods, intercalibration and practical recommendations // Science of the Total Environment. 2016. Vol. 543. P. 123. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.021

Scheibler E.E., Claps M.C., Roig S.A. Temporal and altitudinal variations in benthic macroinvertebrate assemblages in an Andean river basin of Argentina // Journal of Limnology. 2014. Vol. 73. P. 76–92. doi: 10.4081/jlimnol.2014.789

Tretjakova R., Paidere A., Brakovska A. Assessment by Macroinvertebrates of the Ecological Quality of Shallow Lake with Rich Sapropel Sediments // Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Conference. 2023. Vol. 1. P. 228. doi: 10.17770/etr2023vol1.7315

Vdovina O.N., Yanygina L.V., Bezmaternykh D.M. Composition and structure of lake macroinvertebrate communities in different altitudinal zones of Russian Altai // Acta Biologica Sibirica. 2022. Vol. 8. P. 531–555. doi: 10.5281/zenodo.7714667

CURRENT STATE OF ECOSYSTEMS OF LAKES KOKSHA AND SVETLOYE (ALTAI KRAI)

O.N. Vdovina, D.M. Bezmaternykh

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: olgzhukova1984@yandex.ru, bezmater@yandex.ru

In the various hydrological seasons of 2022, a comprehensive study of the lakes Koksha and Svetloye of the Sovetsky district of the Altai Krai (Russia) was conducted. The bottom sediments of lakes, chemical and physical parameters of water have been studied. The content of chlorophyll “a” in water has been estimated. The characteristic of the composition, structure and seasonal dynamics of communities of benthic macroinvertebrates is given. The macrozoobenthos of the lakes was characterized by high species diversity. High values of the

abundance and biomass of zoobenthos were noted, the level of development corresponded to eutrophic types of reservoirs. The water quality of the lakes is determined based on bioindication metrics. Correlation and canonical analyses revealed that biogenic elements and the content of readily oxidizable organic substances had the greatest impact on the development of macroinvertebrate communities in the lakes studied. The indicators of zoobenthos development, as well as the values of biotic indices, indicate a favorable ecological situation in the lakes studied, which is consistent with the data on the content of chlorophyll "a" in the water and hydrochemical characteristics, according to which the waters of these lakes belong to the 1st class of quality.

Keywords: benthic invertebrates; lakes; Western Siberia; bioindication; environmental factors.

Received April 14, 2025. Accepted: June 2, 2025

Сведения об авторах

Вдовина Ольга Николаевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-2479-3338. E-mail: olgazhukova1984@yandex.ru.

Безматерных Дмитрий Михайлович – доктор биологических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-7747-4939. E-mail: bezmater@yandex.ru.

Information about the authors

Vdovina Olga Nikolaevna – PhD in Biology, Researcher at the Laboratory of Hydrobiology of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-2479-3338. E-mail: olgazhukova1984@yandex.ru.

Bezmaternykh Dmitry Mikhailovich – Dr Sc. in Biology, Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-7747-4939. E-mail: bezmater@yandex.ru.